

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/100235 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02D 41/20**

(FR). SCHROD, Walter [DE/DE]; Nittenauer Strasse 8,
93057 Regensburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01613

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Mai 2003 (19.05.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Angaben zur Priorität:
102 23 553.8 27. Mai 2002 (27.05.2002) DE

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

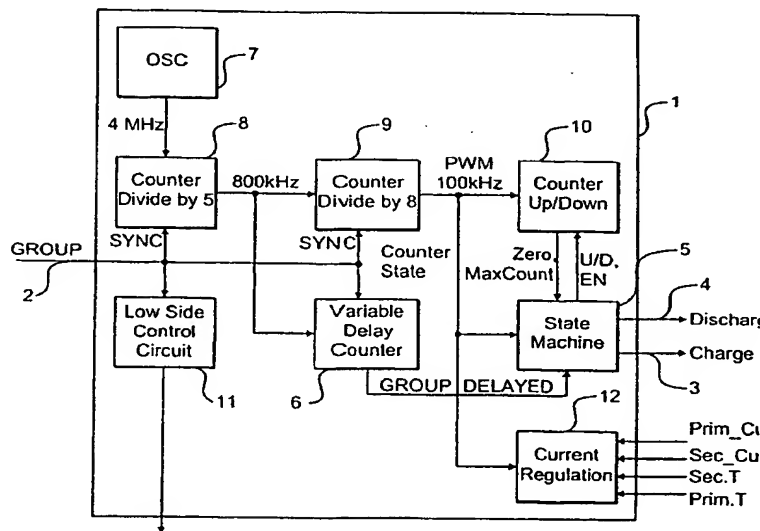
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **CHEMISKY, Eric**
[FR/FR]; Rue de la 1ère Armée 65, F-67630 Lauterbourg

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN ACTUATOR AND CONTROL DEVICE BELONGING THERETO

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ANSTEUERUNG EINES AKTORS UND ZUGEHÖRIGE STEUEREINRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a method for the electric control of an actuator, especially a piezoelectric actuator of an injection system. Said method comprises the following steps: charging the actuator; waiting during a specific period of time (D1, D2) and discharging the actuator after the expiration of said period of time (D1, D2). According to the invention, said period of time (D1, D2) is variably determined in order to compensate the quantization steps. The invention also relates to a corresponding control device for carrying out the inventive method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/100235 A1

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. Dezember 2003 (04.12.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/100235 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F02D 41/20

(FR). SCHROD, Walter [DE/DE]; Nittenauer Strasse 8,
93057 Regensburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/01613

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Mai 2003 (19.05.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(30) Angaben zur Priorität:
102 23 553.8 27. Mai 2002 (27.05.2002) DE

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

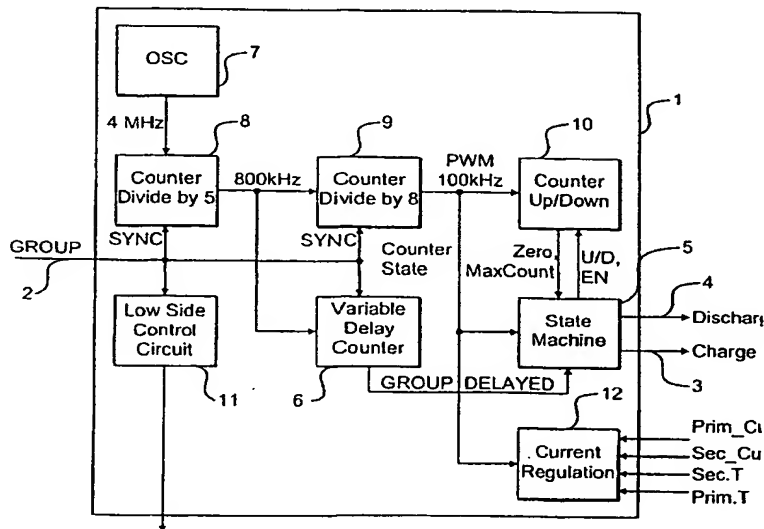
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): CHEMISKY, Eric
[FR/FR]; Rue de la 1ère Armée 65, F-67630 Lauterbourg

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN ACTUATOR AND CONTROL DEVICE BELONGING THERETO

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ANSTEUERUNG EINES AKTORS UND ZUGEHÖRIGE STEUEREINRICHTUNG



(57) Abstract: The invention to a method for the electric control of an actuator, especially a piezoelectric actuator of an injection system. Said method comprises the following steps: charging the actuator; waiting during a specific period of time (D1, D2) and discharging the actuator after the expiration of said period of time (D1, D2). According to the invention, said period of time (D1, D2) is variably determined in order to compensate the quantization steps. The invention also relates to a corresponding control device for carrying out the inventive method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/100235 A1



(57) Zusammenfassung: Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines Aktors, insbesondere eines piezoelektrischen Aktors einer Einspritzanlage, mit den folgenden Schritten: Aufladen des Aktors, Abwarten einer vorgegebenen Verzögerungszeit (D1, D2) und Entladen des Aktors nach Ablauf der Verzögerungszeit (D1, D2). Es wird vorgeschlagen, dass die Verzögerungszeit (D1, D2) variabel festgelegt wird, um Quantisierungssprünge auszugleichen. Weiterhin betrifft die Erfindung eine entsprechende Steuereinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens.

Beschreibung

Verfahren zur Ansteuerung eines Aktors und zugehörige Steuereinrichtung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines Aktors, insbesondere eines piezoelektrischen Aktors einer Einspritzanlage für eine Brennkraftmaschine, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine entsprechende

10 Steuereinrichtung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

In modernen Einspritzanlagen für Brennkraftmaschinen werden in den Injektoren zunehmend piezoelektrische Aktoren eingesetzt, um den Kraftstoff in die Brennräume einzuspritzen.

15 Derartige piezoelektrische Aktoren benötigen Spannungen im Bereich von 120-400 Volt, so dass zur elektrischen Ansteuerung der piezoelektrischen Aktoren beispielsweise getaktete Schaltnetzteile eingesetzt werden können, die aus der Bordspannung von üblicherweise 12, 24 oder 42 Volt die erforderliche

20 Spannung für die Aktoren erzeugen.

Aus DE 199 44 733 A1 ist ein derartiges Schaltnetzteil bekannt, das zur Spannungswandlung einen Transformator aufweist und den Aktor in einer Ladephase auflädt und anschließend in

25 einer Entladephase wieder entlädt, um die gewünschte Stellbewegung des Aktors zu erzeugen. Nach der Ladephase wird hierbei eine konstante Verzögerungszeit abgewartet, bis mit dem Entladevorgang begonnen wird, damit der Transformator zu Beginn des Entladevorgangs mit Sicherheit leer ist.

30

Nachteilig an derartigen getakteten Schaltnetzteilen ist jedoch die Tatsache, dass die Ausgangsenergie und damit die Einspritzmenge große Quantisierungssprünge aufweist, was unter anderem durch die mit der Taktung verbundene zeitliche

35 Rasterung verursacht wird. Die Quantisierung bei der Akto-
ransteuerung hat also eine Quantisierung der eingespritzten

Kraftstoffmenge zur Folge, was dem Ziel einer möglichst präzisen Ansteuerung der Brennkraftmaschine widerspricht und mit unerwünschten Abgasemissionen verbunden ist.

- 5 Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines Aktors und eine entsprechende Steuereinrichtung zu schaffen, wobei Quantisierungssprünge möglichst vermieden werden sollen.
- 10 Die Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch die Merkmale des Anspruchs 1 und bezüglich einer entsprechenden Steuereinrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 10 gelöst.

- Die Erfindung umfasst die allgemeine technische Lehre, die
- 15 Verzögerungszeit zwischen der Ladephase und der Entladephase variabel festzulegen, um die Quantisierungssprünge auszugleichen, die durch die Zeitrasterung verursacht werden.

- Falls beispielsweise das Entladesignal kurz nach dem Beginn
- 20 eines Zeitrasters erscheint, so verschiebt sich der Bezugspunkt für den Beginn der Entladephase bis zum Ende dieses Zeitrasters, was bei einer herkömmlichen Ansteuerung zu einem großen Quantisierungssprung führen würde. In diesem Fall sieht die Erfindung vorzugsweise eine relativ kleine Verzögerungszeit vor, um den Quantisierungssprung auszugleichen, der
- 25 mit der zeitlichen Verschiebung des Bezugspunktes für die Entladephase verbunden ist. In diesem Fall ist die Verzögerungszeit vorzugsweise relativ kurz im Vergleich zu dem Zeitraster.

- 30 Falls das Entladesignals dagegen kurz vor dem Ende eines Zeitrasters auftritt, so führt die Verschiebung des Bezugspunktes für den Beginn der Entladephase nur zu einem sehr geringen Quantisierungssprung. In diesem Fall sieht die Erfindung vorzugsweise eine relativ große Verzögerungszeit bis zum
- 35 Beginn der Entladephase vor, um die Quantisierungssprünge un-

abhängig von der zeitlichen Lage des Entladesignals möglichst gering zu halten. In diesem Fall ist die Verzögerungszeit vorzugsweise relativ groß im Vergleich zu dem Zeitraster und kann beispielsweise der Dauer von zwei Zeitrastern entsprechen.

In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird die Verzögerungszeit also in Abhängigkeit von der zeitlichen Lage des Entladesignals variabel festgelegt.

10

Vorzugsweise wird hierbei der zeitliche Abstand zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses ermittelt, wobei die Verzögerungszeit in Abhängigkeit von diesem Zeitabstand festgelegt wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Periodendauer der Ladeimpulse die Zeitrasterung bestimmt, so dass der Beginn eines Ladeimpulses jeweils mit dem Beginn eines Zeitrasters zusammenfällt.

15

Hierbei weist die Verzögerungszeit vorzugsweise eine lineare Abhängigkeit von der Zeitspanne zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses auf, wobei die Verzögerungszeit vorzugsweise linear mit der Zeitspanne zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses zunimmt.

20

25

Vorzugsweise weist die Verzögerungszeit hierbei unabhängig von der zeitlichen Lage des Entladesignals einen Minimalwert auf, der sicherstellen soll, dass der Transformator in dem Schaltnetzteil vor Beginn der Entladephase entleert ist. Der Minimalwert der Verzögerungszeit liegt beispielsweise im Bereich von einem bis zehn Zeitrastern, wobei beliebige Zwischenwerte möglich innerhalb dieses Bereichs möglich sind.

30

Darüber hinaus kann die Verzögerungszeit auch eine andere funktionale Abhängigkeit von der Zeitspanne zwischen dem Entladesignal und dem vorangegangenen Ladeimpuls aufweisen. Bei-

35

spielsweise kann die funktionale Abhängigkeit proportional, progressiv oder degressiv sein, um den Ausgleich der durch die Zeitrasterung bedingten Quantisierungssprünge zu optimieren.

5

Die Verzögerungszeit beginnt hierbei vorzugsweise jeweils mit dem Beginn des letzten Ladeimpulses, jedoch kann die Verzögerungszeit auch mit dem Entladesignal gestartet werden.

10 In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird das Entladesignal durch eine fallende Flanke eines Steuersignals gebildet, wohingegen die steigende Flanke des Steuersignals ein Ladesignal bildet.

15 Darüber hinaus umfasst die Erfindung auch eine Steuereinrichtung zur Durchführung des vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens.

Hierzu weist die erfindungsgemäße Steuereinrichtung einen
20 Signaleingang auf, an dem das Entladesignal aufgenommen wird.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Steuereinrichtung einen Signalausgang auf, um ein Steuersignal abzugeben, das die Entladephase startet, indem beispielsweise ein Entladetransistor des Schaltnetzteils durchschaltet.
25

Die Ausgabe des Steuersignals wird hierbei durch ein Verzögerungsglied um eine vorgegebene Verzögerungszeit verzögert, wobei das Verzögerungsglied eine variable Verzögerungszeit aufweist, um die Auswirkungen von Quantisierungssprüngen durch eine Anpassung der Verzögerungszeit auszugleichen.
30

Vorzugsweise ist die Verzögerungszeit von dem Zeitabstand zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses abhängig. Zur Ermittlung dieses Zeitabstands ist
35 vorzugsweise ein Zähler vorgesehen, der jeweils mit dem Be-

ginn eines Ladeimpulses synchronisiert wird und ausgangsseitig eine Impulszahl ausgibt, die die Zeitspanne seit dem Beginn des letzten Ladeimpulses wiedergibt. Beim Erscheinen des Entladesignals übernimmt das Verzögerungsglied diese Impulszahl dann als Verzögerungszeit.

Das Verzögerungsglied selbst weist vorzugsweise einen weiteren Zähler auf, der die Impulse eines Taktsignals zählt und beim Erreichen einer vorgegebenen Unter- oder Obergrenze den Entladevorgang startet.

Andere vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüche enthalten oder werden nachstehend zusammen mit der Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

- Figur 1 die erfindungsgemäße Steuereinrichtung als Blockschaltbild,
- Figur 2 das erfindungsgemäße Verfahren zur Ansteuerung eines Aktors als Flussdiagramm,
- Figur 3 ein Impulsdiagramm zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie
- Figur 4 ein Impulsdiagramm zur Verdeutlichung der variablen Festlegung der Verzögerungszeit bei dem erfindungsgemäßen Verfahren.

Das Blockschaltbild in Figur 1 zeigt eine Steuereinrichtung 1 zur Steuerung des Lade- und Entladevorgangs eines piezoelektrischen Aktors einer Einspritzanlage für eine Brennkraftmaschine, um den gewünschten Hub des Aktors einzustellen und Einspritzzeitpunkt und Einspritzdauer festzulegen.

Die Festlegung des Einspritzzeitpunkts und der Einspritzdauer erfolgt hierbei durch ein Steuersignal GROUP, das an einem Signaleingang 2 der Steuereinrichtung 1 anliegt und durch eine elektronische Motorsteuerung vorgegeben wird. Der Ladevor-

gang beginnt hierbei mit einer steigenden Flanke des Steuer-
signals GROUP, wohingegen eine fallende Flanke des Steuersig-
nals GROUP den Entladevorgang einleitet, wie aus dem Impuls-
diagramm in Figur 3 ersichtlich ist und noch detailliert be-
5 beschrieben wird.

Die elektrische Aufladung des Aktors erfolgt in herkömmlicher
Weise durch ein Schaltelement, das durch einen Signalaus-
gang 3 der Steuereinrichtung 1 angesteuert wird, wobei das
10 Schaltelement zur Vereinfachung nicht dargestellt ist.
An dem Signalausgang 3 erscheint hierbei ein binäres Steuer-
signal CHARGE, das bei einem High-Pegel eine Aufladung des
Aktors bewirkt, während ein Low-Pegel des Steuersignals
CHARGE den Ladevorgang beendet.

15 Zur Entladung des Aktors wird ein weiteres Schaltelement
durch einen weiteren Signalausgang 4 mit einem binären Steu-
ersignal DISCHARGE angesteuert, wobei ein High-Pegel des
Steuersignals DISCHARGE die Entladung startet, während ein
20 Low-Pegel des Steuersignals DISCHARGE die Entladung beendet.

Die Auf- bzw. Entladung des Aktors durch die beiden Schalt-
elemente erfolgt durch eine Transformatorschaltung, die bei-
spielsweise in DE 199 44 733 A1 detailliert beschrieben ist,
25 so dass deren Inhalt der vorliegenden Beschreibung in vollem
Umfang zuzurechnen ist.

Die beiden Steuersignale CHARGE und DISCHARGE werden hierbei
durch einen Zustandsautomaten 5 erzeugt, wobei nach dem Ende
30 des Ladevorgangs zunächst eine vorgegebene Verzögerungszeit
abgewartet wird, bis der Entladevorgang gestartet wird. Diese
Verzögerung ist vorteilhaft, damit der zur Ansteuerung des
Aktors eingesetzte Transformator vor Beginn des Entladevor-
gangs vollständig entleert ist.

35 Zur Verzögerung der Abgabe des Steuersignals DISCHARGE weist

die Steuereinrichtung 1 ein Verzögerungsglied 6 auf, das ausgangsseitig mit dem Zustandsautomaten 5 verbunden ist und diesen mit einem binären Steuersignal GROUP_DELAYED ansteuert. Bei einem High-Pegel des Steuersignals GROUP_DELAYED
5 gibt der Zustandsautomat 5 an dem Signalausgang 4 das Steuersignal DISCHARGE mit einem High-Pegel aus, wodurch der Entladvorgang sofort beginnt.

Weiterhin weist die Steuereinrichtung 1 einen Impulsgenerator 7 auf, der ein Taktsignal mit einer Frequenz von 4 MHz erzeugt.
10

Dieses Taktsignal wird einem Frequenzteiler 8 zugeführt, der die Frequenz des Taktsignals durch fünf teilt und ausgangsseitig eine Impulsfolge mit einer Frequenz von 800 kHz erzeugt, die als Referenzsignal für die Steuereinrichtung 1 verwendet wird.
15

Eingangsseitig weist der Frequenzteiler 8 einen Synchronisationseingang SYNC auf, dem das Steuersignal GROUP zugeführt wird. Die von dem Frequenzteiler 8 ausgangsseitig ausgegebene Impulsfolge wird also mit einer steigenden Flanke des Steuersignals GROUP synchronisiert. Durch diese Synchronisation wird der Jitter zwischen der steigenden Flanke des Steuersignals GROUP und dem tatsächlichen Beginn der Aufladung auf weniger als 250ns verringert. Dies ist insbesondere bei Direkt-
20 einspritzern vorteilhaft, um die Abgasemissionen zu verringern.

Ausgangsseitig ist der Frequenzteiler 8 mit dem Verzögerungsglied 6 sowie mit einem weiteren Frequenzteiler 9 verbunden, wobei der Frequenzteiler 9 die Aufgabe hat, die Verzögerungszeit für das Verzögerungsglied 6 variabel festzulegen.
30

Der Frequenzteiler 9 erzeugt ausgangsseitig eine Impulsfolge PWM mit einer Frequenz von 100 kHz, die in dem Impulsdiagramm
35

in Figur 3 oben sowie in dem Impulsdiagramm in Figur 4 unten dargestellt ist.

Die von dem Frequenzteiler 9 erzeugte Impulsfolge PWM wird
5 hierbei mit dem Steuersignal GROUP synchronisiert, wobei eine
steigende Flanke des Steuersignals GROUP mit einer steigenden
Flanke der Impulsfolge PWM zusammenfällt. Der Frequenztei-
ler 9 weist deshalb einen Synchronisationseingang SYNC auf,
der mit dem Signaleingang 2 der Steuereinrichtung 1 verbunden
10 ist.

Ausgangsseitig ist der Frequenzteiler 9 mit dem Zustandsauto-
maten 5 verbunden, der beim Anliegen der Impulsfolge PWM den
Lade- bzw. Entladevorgang durchführt.

15 Darüber hinaus ist der Frequenzteiler 9 auch mit einem Zähler
10 verbunden, der während des Lade- bzw. Entladevorgangs
die Anzahl der Impulse der Impulsfolge PWM zählt.

20 Falls die Anzahl der von dem Zähler 10 erfassten Ladeimpulse
beim Laden des Aktors einen vorgegebenen Maximalwert MAXCOUNT
überschreitet, so gibt der Zähler 10 ein Abbruchsignal an den
Zustandsautomaten 5, woraufhin dieser den Ladevorgang ab-
bricht. Hierzu bringt der Zustandsautomat 5 das Steuersignal
25 CHARGE an dem Steuerausgang 3 auf einen Low-Pegel, wodurch
auch eine übermäßige Aufladung des Aktors verhindert wird.
Typische Werte für den Maximalwert MAXCOUNT liegen im Bereich
von 20 bis 30, was einer im Aktor gespeicherten Energie von
60 bis 90mJ entspricht.

30 Bei einem Entladevorgang zählt der Zähler 10 dann ausgehend
von dem zuvor während der Ladephase ermittelten Zählwert ab-
wärts die Anzahl der Entladeimpulse und gibt bei Null eben-
falls ein Abbruchsignal an den Zustandsautomaten 5, um den
35 Entladevorgang zu beenden. Hierzu bringt der Zustandsauto-
mat 5 das Steuersignal DISCHARGE an dem Signalausgang 4 auf

einen Low-Pegel, woraufhin der Entladevorgang sofort beendet wird. Dieses Abwärtszählen der Entladeimpulse stellt sicher, dass die Anzahl der Entladeimpulse während des Entladevorgangs genauso groß ist wie die Anzahl der Ladeimpulse während des vorangegangenen Ladevorgangs, so dass der Aktor zum Groß-
5 teil entladen ist, bevor er kurzgeschlossen wird. Eine vollkommene Entladung des Aktors ist nämlich eine Voraussetzung dafür, dass der Aktor während des folgenden Ladevorgangs auf ein definiertes Energieniveau gebracht werden kann.

10

Ferner weist die Steuereinrichtung noch eine Steuerschaltung 11 zur Ansteuerung mehrerer Auswahlshalter auf, die zur Vereinfachung nicht dargestellt sind. Die Auswahlshalter sind hierbei jeweils einem von mehreren Aktoren zugeordnet
15 und ermöglichen eine brennraumselektive Auf- bzw. Entladung der Aktoren.

20

Schließlich ist der Frequenzteiler 9 noch mit einer herkömmlichen Stromregелеinheit 12 verbunden, die den primären und den sekundären Strom in der vorstehend erwähnten Transformatorschaltung regelt.

25

Im folgenden wird nun unter Bezugnahme auf die Impulsdiagramme in Figur 3 und das Flussdiagramm in Figur 2 die Funktionsweise der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung 1 beschrieben.

30

Figur 3 zeigt insgesamt fünf Impulsdiagramme, wobei das obere Impulsdiagramm den zeitlichen Verlauf der von dem Frequenzteiler 9 erzeugten Impulsfolge PWM wiedergibt.

Die unteren Impulsdiagramme in Figur 3 geben dagegen den zeitlichen Verlauf der Aktorenergie E1 bzw. E2 für geringfügig unterschiedliche Steuersignale GROUP1 bzw. GROUP2 wieder.

35

Zum Zeitpunkt $t=0$ wird der Ladevorgang des Aktors durch eine steigende Flanke des Steuersignals GROUP1 bzw. GROUP2 einge-

10

leitet. Dies führt zu einer Synchronisierung der Impulsfolge PWM durch den Frequenzteiler 9, so dass der Zustandsautomat 5 das Steuersignal CHARGE auf einen High-Pegel bringt, während das Steuersignal DISCHARGE einen Low-Pegel annimmt.

5

Während des Ladevorgangs gibt der Frequenzteiler 9 an seinem Ausgang COUNTER_STATE die Anzahl der Impulse seit Beginn des letzten Ladeimpulses aus, wobei diese Anzahl der Zeitspanne Δt_1 bzw. Δt_2 in Figur 3 entspricht.

10

Darüber hinaus zählt der Zähler 10 während des Ladevorgangs die Anzahl der Impulse und bricht den Ladevorgang beim Erreichen des vorgegebenen Maximalwerts MAX_COUNT ab, um eine übermäßige Aufladung des Aktors zu verhindern.

15

Bei einer fallenden Flanke des Steuersignals GROUP1 bzw. GROUP2 wird dann der Entladevorgang eingeleitet, wobei die Entladung zeitverzögert erfolgt, um sicherzustellen, dass der Transformator der vorstehend erwähnten Transformatorschaltung zuvor vollständig entleert ist.

20

Hierzu übernimmt das Verzögerungsglied 6 bei einer fallenden Flanke des Steuersignals GROUP1 bzw. GROUP2 von dem Frequenzteiler 9 die Impulszahl COUNTER_STATE, die seit dem Beginn des letzten Ladeimpulses der Impulsfolge PWM gemessen wurde. Das Verzögerungsglied 6 bestimmt daraus die zugehörige Zeitspanne Δt_1 bzw. Δt_2 und berechnet eine Verzögerungszeit D1 bzw. D2 nach folgender Formel:

25

30

$$D = D_0 + 2 \cdot \Delta t \dots$$

35

Hierbei ist $D_0 = 1,25 \mu s$ eine minimale Verzögerungszeit, die sicherstellen soll, dass der Transformator der vorstehend erwähnten Transformatorschaltung vor Beginn des Entladevorgangs vollständig entladen ist. Die Verzögerungszeit D hängt also von der Zeitspanne Δt_1 bzw. Δt_2 zwischen der fallenden Flanke

des Steuersignals GROUP1 bzw. GROUP2 als Entladesignal und dem Beginn des letzten Ladeimpulses der Impulsfolge ab, wobei die Abhängigkeit einen linearen Verlauf aufweist, die aus Figur 4 oben ersichtlich ist. Die Stufung des Verlaufs der Verzögerungszeit D in Figur 4 ergibt sich hierbei aus der Tatsache, dass der Frequenzteiler 9 mit einer Frequenz von 800 kHz angesteuert wird, während die Impulsfolge PWM nur eine Frequenz von 100 kHz aufweist.

Nach einer fallenden Flanke des Steuersignals GROUP1 bzw. GROUP2 zählt das Verzögerungsglied 6 dann die Anzahl der Impulse der von dem Frequenzteiler 8 erzeugten Impulsfolge und gibt das Steuersignals GROUP_DELAYED an den Zustandsautomaten 5 aus, wenn seit dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses die Verzögerungszeit D verstrichen ist, wie aus Figur 3 ersichtlich ist. Der Zustandsautomat 5 bringt das Steuersignal DISCHARGE daraufhin auf einen High-Pegel, woraufhin der Entladevorgang unmittelbar beginnt.

Die erfindungsgemäße variable Festlegung der Verzögerungszeit D vor Beginn des Entladevorgangs bietet den Vorteil, dass der störende Einfluss der Zeitdiskretisierung bei der getakteten Auf- bzw. Entladung des Aktors verringert wird.

So können bei herkömmlichen Anordnungen mit einer konstanten Verzögerungszeit bereits geringfügige Verschiebungen der fallenden Flanke des Steuersignals GROUP als Entladesignal zu erheblichen Änderungen der Einspritzmenge führen. Dies ist dann der Fall, wenn das Entladesignal über eine Zeitdiskretisierungsgrenze hinweg verschoben wird, die in dem Impulsdigramm in Figur 3 durch senkrechte gestrichelte Linien dargestellt ist. Bei einer derartigen Verschiebung des Entladesignals wird nämlich die Entladung um eine vollständige Zeitdiskretisierungseinheit verzögert, was in Figur 3 zu einem gestrichelt dargestellten Energieverlauf 13 führen würde.

Im Gegensatz dazu führt die flexible Festlegung der Verzöge-

rungszeit D bei der erfindungsgemäßen Steuereinrichtung bei geringfügigen Verschiebungen des Entladesignals auch nur zu einer geringen Änderungen der Aktorenergie, die in Figur 3 durch eine schraffierte Fläche 14 dargestellt ist.

5

Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene bevorzugte Ausführungsbeispiel beschränkt. Vielmehr ist eine Vielzahl von Varianten und Abwandlungen möglich, die ebenfalls von dem Erfindungsgedanken Gebrauch machen und deshalb

10

in den Schutzbereich fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines Aktors,
insbesondere eines piezoelektrischen Aktors einer Einspritz-
5 anlage, mit den folgenden Schritten:

- Aufladen des Aktors,
- Abwarten einer vorgegebenen Verzögerungszeit (D1, D2),
- Entladen des Aktors nach Ablauf der Verzögerungszeit (D1,
- 10 D2),

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Verzögerungszeit (D1, D2) variabel festgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Verzögerungszeit (D1, D2) in Abhängigkeit von der
zeitlichen Lage eines Entladesignals festgelegt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder Anspruch 2,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Aktor durch eine Folge (PWM) von Ladeimpulsen aufge-
laden wird, wobei die Verzögerungszeit (D1, D2) in Abhängig-
keit von der Zeitspanne (Δt_1 , Δt_2) zwischen dem Entladesignal
und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses festgelegt
25 wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Verzögerungszeit (D1, D2) mit dem Beginn des voran-
30 gegangenen Ladeimpulses und/oder eines Ladesignals anfängt.

5. Verfahren nach Anspruch 3 und/oder Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Verzögerungszeit (D1, D2) eine lineare Abhängigkeit
35 von der Zeitspanne (Δt_1 , Δt_2) zwischen dem Entladesignal und
dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses aufweist.

6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verzögerungszeit (D1, D2) einen vorgegebenen Minimalwert aufweist.

7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Entladesignal eine fallende Flanke eines Steuersignals (GROUP) ist.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Aktor beim Auftreten eines Ladesignals aufgeladen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Ladesignal eine steigende Flanke eines Steuersignals (GROUP) ist.

10. Steuereinrichtung für einen Aktor, insbesondere für einen piezoelektrischen Aktor einer Einspritzanlage für eine Brennkraftmaschine, mit
einem Signaleingang (2) zur Aufnahme eines Entladesignals,
einem Signalausgang (4) zur Abgabe eines Steuersignals (DISCHARGE) zum Entladen des Aktors, sowie mit
einem Verzögerungsglied (6) zur Verzögerung des Steuersignals (DISCHARGE) um eine vorgegebene Verzögerungszeit (D1, D2),
dadurch gekennzeichnet,
dass das Verzögerungsglied (6) eine variable Verzögerungszeit (D1, D2) aufweist.

11. Steuereinrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,

15

dass die Verzögerungszeit (D1, D2) von der zeitlichen Lage des Entladesignals abhängig ist.

12. Steuereinrichtung nach Anspruch 10 und/oder Anspruch 11,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass zur Erzeugung von Ladeimpulsen ein Impulsgeber (7) vorgesehen ist.

13. Steuereinrichtung nach Anspruch 12,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass zur Ermittlung des Zeitabstands (Δt_1 , Δt_2) zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses ein erster Zähler (9) vorgesehen ist, wobei der erste Zähler (9) ausgangsseitig mit dem Verzögerungsglied (6) verbunden
15 ist, um die Verzögerungszeit (D1, D2) in Abhängigkeit von dem Zeitabstand (Δt_1 , Δt_2) zwischen dem Entladesignal und dem Beginn des vorangegangenen Ladeimpulses festzulegen.

14. Steuereinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 10
20 bis 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Verzögerungsglied (6) eingangsseitig mit dem Signaleingang (2) verbunden ist, um die Verzögerungszeit (D1, D2) bei einem Ladesignal zu starten.

25
15. Steuereinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 10 bis 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Verzögerungsglied (6) einen zweiten Zähler aufweist,
30 der eingangsseitig mit einem Impulsgeber (7) und mit dem Signaleingang (2) verbunden ist.

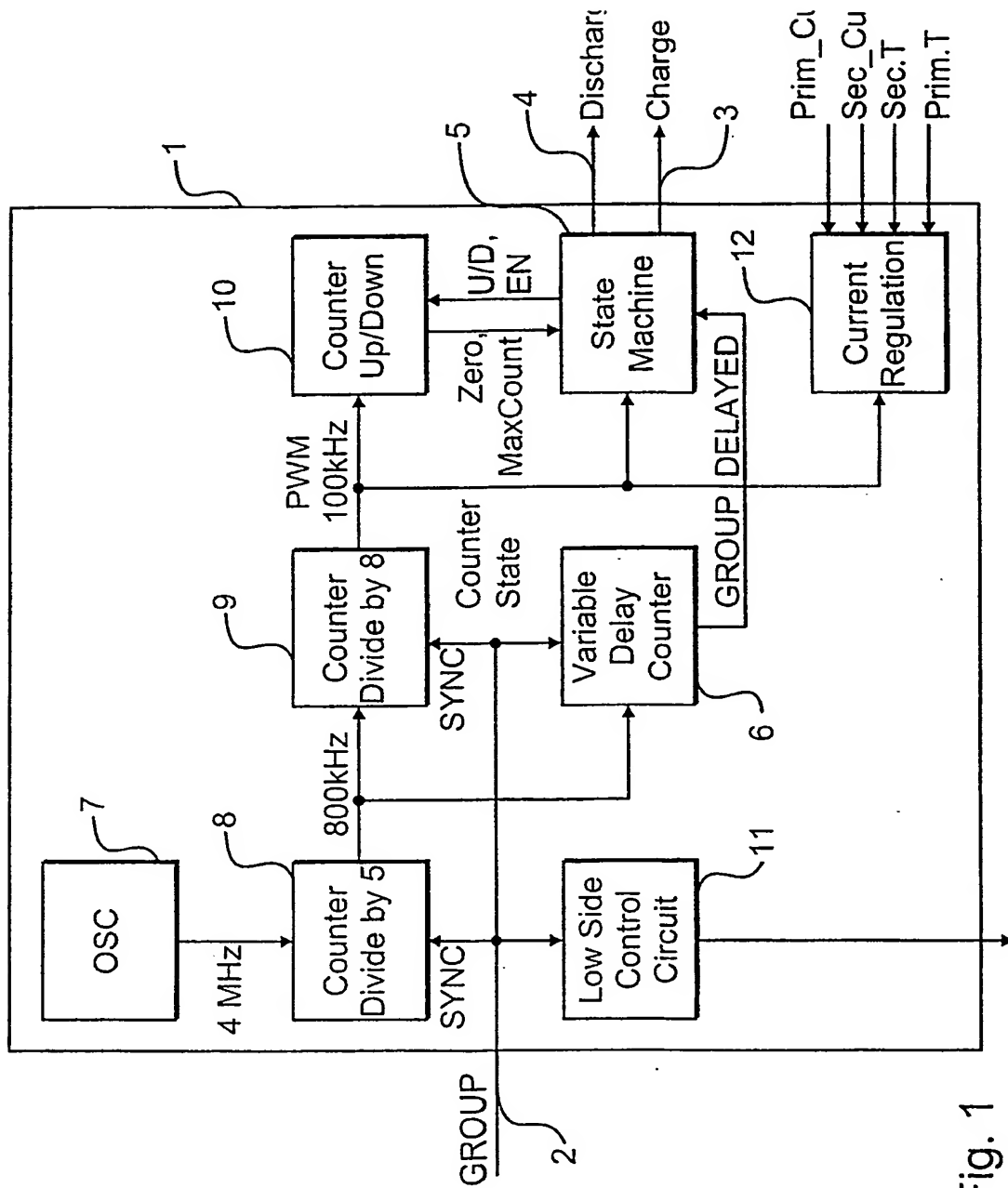


Fig. 1

2/4

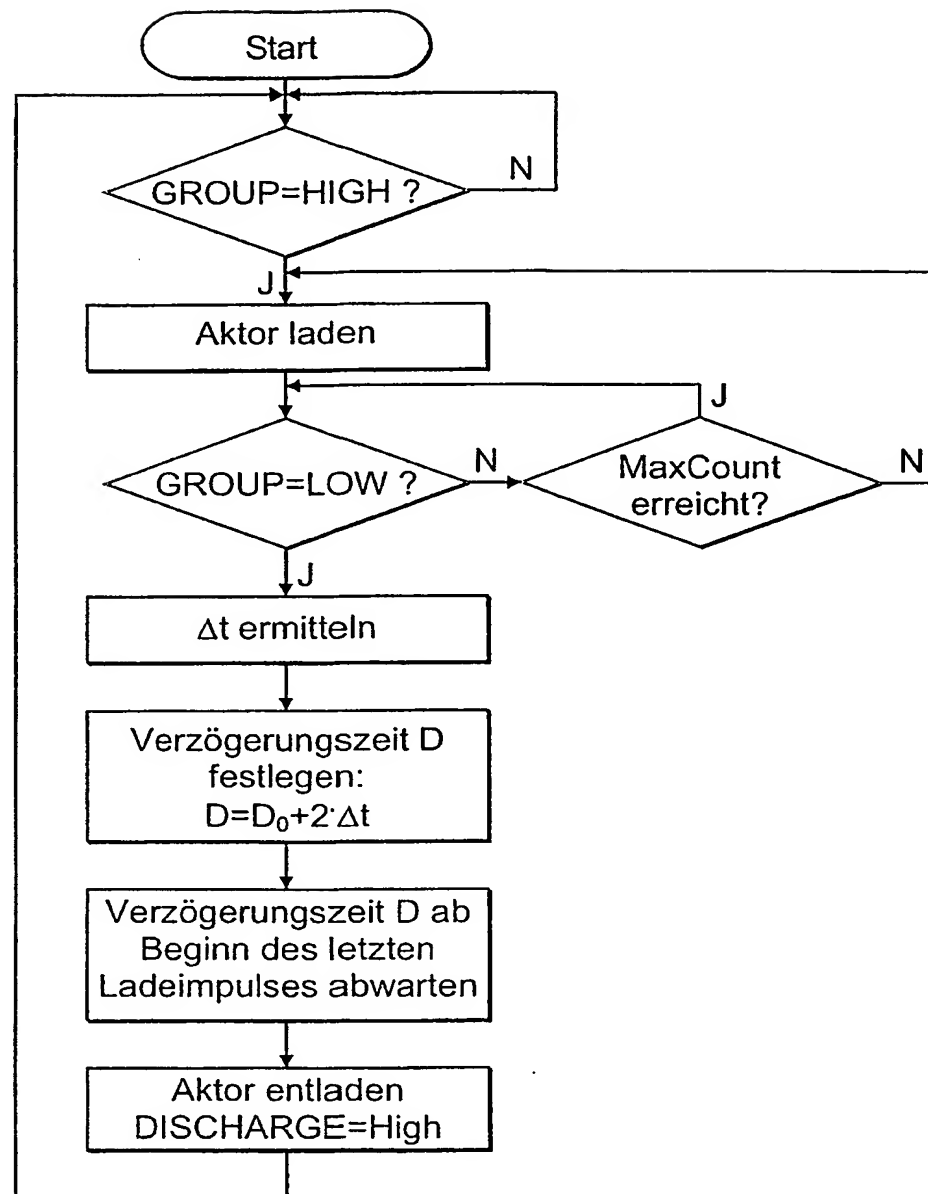


Fig. 2

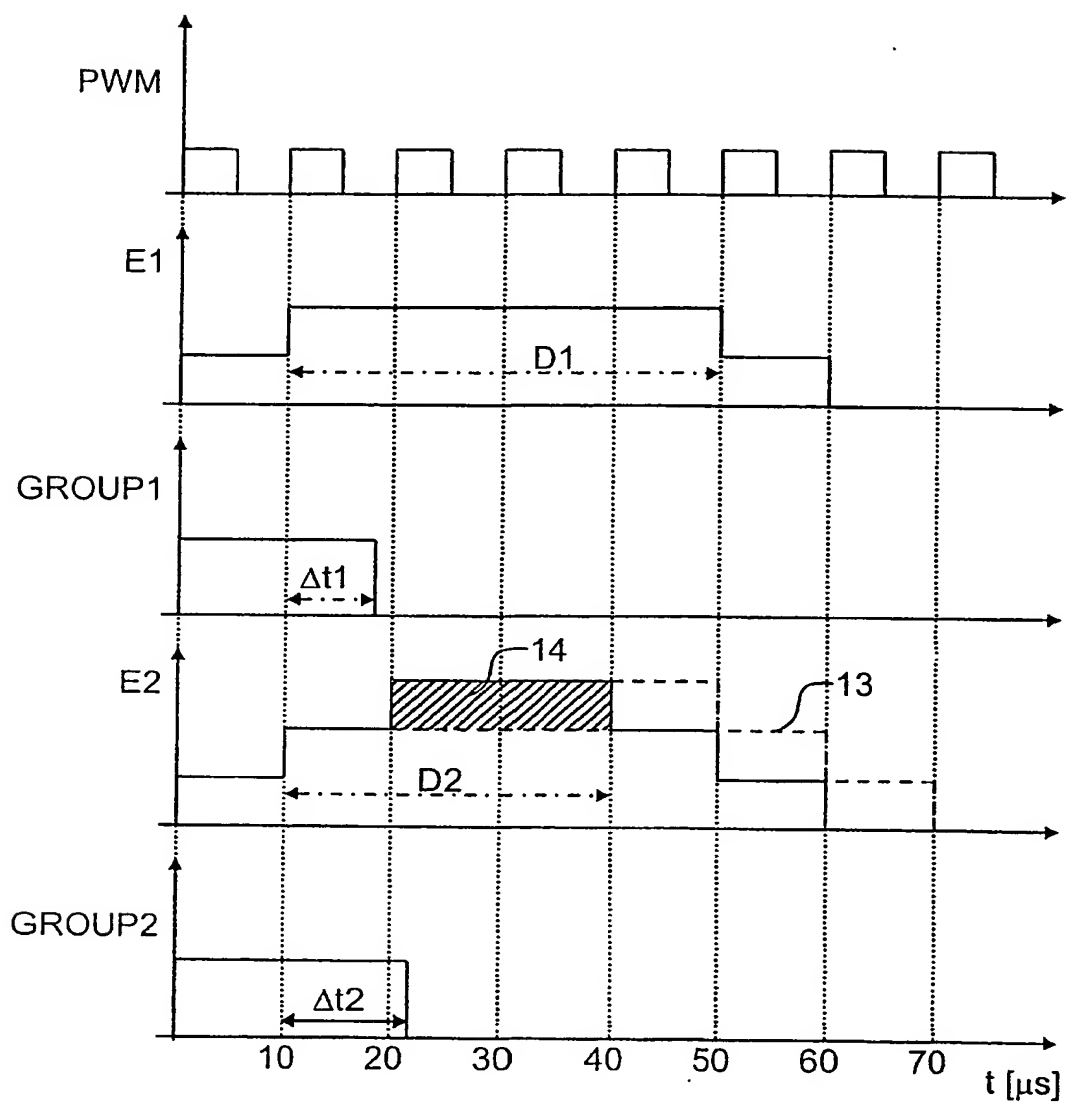


Fig. 3

4/4

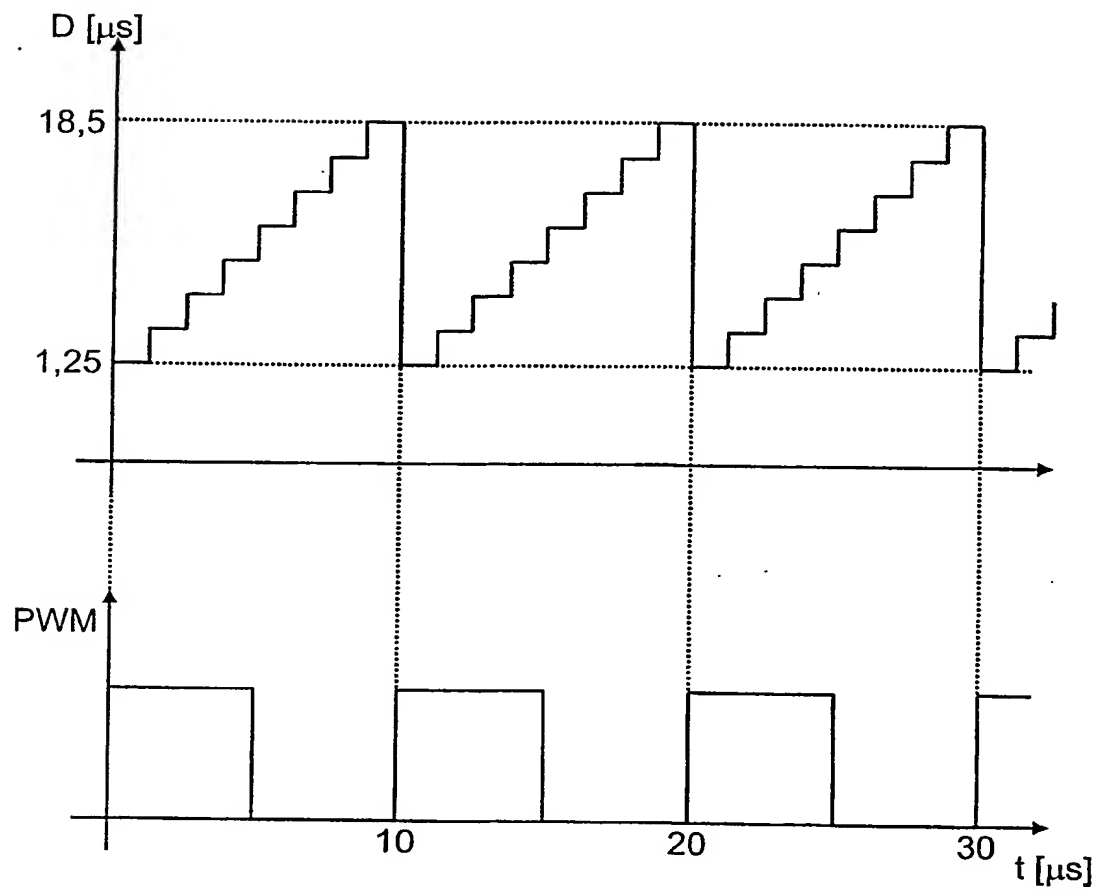


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/01613

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F02D41/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F02D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 138 903 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4 October 2001 (2001-10-04) abstract paragraph '0090!	1,10
X	EP 1 139 446 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4 October 2001 (2001-10-04) abstract paragraph '0077!	1,10
A	DE 199 44 733 A (SIEMENS AG) 29 March 2001 (2001-03-29) the whole document	1-15
A	EP 1 138 915 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4 October 2001 (2001-10-04) abstract paragraphs '0062!, '0063!	1-15
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 September 2003

Date of mailing of the international search report

22/09/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Nicolás, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 03/01613

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/046731 A1 (NEWALD JOSEF ET AL) 25 April 2002 (2002-04-25) paragraphs '0072!, '0073! abstract -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 03/01613

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1138903	A	04-10-2001	EP 1138903 A1	04-10-2001
			JP 2002004924 A	09-01-2002
			US 2001035697 A1	01-11-2001
EP 1139446	A	04-10-2001	EP 1139446 A1	04-10-2001
			JP 2002034271 A	31-01-2002
			US 2001032058 A1	18-10-2001
DE 19944733	A	29-03-2001	DE 19944733 A1	29-03-2001
			CA 2385080 A1	29-03-2001
			CN 1375115 T	16-10-2002
			WO 0122502 A1	29-03-2001
			EP 1212799 A1	12-06-2002
			US 2002121958 A1	05-09-2002
EP 1138915	A	04-10-2001	EP 1138915 A1	04-10-2001
			JP 2002021621 A	23-01-2002
			US 2001027780 A1	11-10-2001
US 2002046731	A1	25-04-2002	DE 10033343 A1	17-01-2002
			GB 2364576 A ,B	30-01-2002
			JP 2002106402 A	10-04-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01613

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F02D41/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 F02D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 138 903 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Zusammenfassung Absatz '0090! ---	1,10
X	EP 1 139 446 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Zusammenfassung Absatz '0077! ---	1,10
A	DE 199 44 733 A (SIEMENS AG) 29. März 2001 (2001-03-29) das ganze Dokument ---	1-15
A	EP 1 138 915 A (BOSCH GMBH ROBERT) 4. Oktober 2001 (2001-10-04) Zusammenfassung Absätze '0062!, '0063! ---	1-15

-/-

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

15. September 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/09/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Nicolás, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01613

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>US 2002/046731 A1 (NEWALD JOSEF ET AL)</p> <p>25. April 2002 (2002-04-25)</p> <p>Absätze '0072!, '0073!</p> <p>Zusammenfassung</p> <p>-----</p>	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 03/01613

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1138903	A	04-10-2001	EP 1138903 A1	04-10-2001
			JP 2002004924 A	09-01-2002
			US 2001035697 A1	01-11-2001
EP 1139446	A	04-10-2001	EP 1139446 A1	04-10-2001
			JP 2002034271 A	31-01-2002
			US 2001032058 A1	18-10-2001
DE 19944733	A	29-03-2001	DE 19944733 A1	29-03-2001
			CA 2385080 A1	29-03-2001
			CN 1375115 T	16-10-2002
			WO 0122502 A1	29-03-2001
			EP 1212799 A1	12-06-2002
			US 2002121958 A1	05-09-2002
EP 1138915	A	04-10-2001	EP 1138915 A1	04-10-2001
			JP 2002021621 A	23-01-2002
			US 2001027780 A1	11-10-2001
US 2002046731	A1	25-04-2002	DE 10033343 A1	17-01-2002
			GB 2364576 A ,B	30-01-2002
			JP 2002106402 A	10-04-2002